

진주만 식물플랑크톤 군집의 천이에 영향을 미치는 환경요인

오석진¹ · 이종석² · 박종식³ · 노일현³ · 윤양호^{3,†}

¹부경대학교 해양과학공동연구소

²전남대학교 수산해양대학원 해양개발학과

³전남대학교 해양기술학부

Environmental Factor on the Succession of Phytoplankton Community in Jinju Bay, Korea

Seok Jin Oh¹, Jong Seok Lee², Jong Sick Park³, Il Hyeon Noh³, and Yang Ho Yoon^{3,†}

¹Korea Inter-University Institute of Ocean Science, Pukyong National University, Daeyeon-dong, Nam-gu, Busan 608-737, Korea

²Department of Marine development, Graduate School of Fisheries and Ocean Science, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea

³Faculty of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea

요 약

본 연구는 한국 남해안에 위치한 진주만에서 수온, 염분 그리고 소광계수의 시공간적 분포 특성을 파악하고 이들 환경 변수가 식물플랑크톤의 군집 천이에 어떤 영향을 미치는지 알기 위해 수행하였다. 조사는 2003년 4월, 7월, 10월 및 12월에 22개 정점에서 실시하였다. 수온은 10.4-21.8 °C로, 염분은 4.34-33.21 psu로 시·공간적으로 크게 변동하였다. 소광계수는 0.09-3.08로 만 중앙부의 일부 해역을 제외하고는 모든 해역에서 1이상의 높은 값을 보였으며, 특히 7월은 하천 하구역에서 2이상의 매우 높은 값을 나타내었다. 진주만에 출현하는 식물플랑크톤 군집 종조성은 총 51속, 95종이었다. 식물플랑크톤은 전 관측기간에 걸쳐서 구조류가 우점하였다. 우점종은 4월에 *Thalassionema nitzschioides*, *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira* sp., 7월에는 *S. costatum*, *Leptocylindrus danicus*, 10월에는 *Chaetoceros debilis*, *S. costatum*, *C. curvisetus*, *Pseudonitzschia pungens* 그리고, 12월에는 *S. costatum*, *Asterionellopsis glacialis*, *C. debilis*가 우점하였으며, 특히 *S. costatum*은 4 계절 주요 우점종이었다. 기존의 생리학적 문헌을 고려할 때 *S. costatum*은 조도에 대한 친화성이 높은 광온·광염성으로 진주만과 같이 시·공간적으로 넓은 수온, 염분 분포와 높은 소광계수를 가지는 해역에서 개체군 확대에 유리한 위치에 있을 것으로 판단되었다.

Abstract – In April, July, October and December, 2003, we investigated the effects of water temperature, salinity and extinction coefficient on the distribution of phytoplankton communities at 22 stations in Jinju Bay of Korea. Water temperature and salinity showed a wide range of 10.4 °C-21.8 °C and 4.34-33.21 psu. Extinction coefficients showed a range of 0.09-3.08, above 1 from almost all the areas except in some central areas, especially, showed highest value (>2) in the estuary area. In phytoplankton, a total of 95 species belonging to 51 genera were identified. The predominant species were mainly diatoms throughout the year. Dominant species was *Thalassionema nitzschioides*, *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira* sp. in April, *S. costatum*, *Leptocylindrus danicus* in July, *C. debilis*, *S. costatum*, *C. curvisetus*, *Pseudonitzschia pungens* in October, *S. costatum*, *Asterionellopsis glacialis* and *C. debilis* in December. *S. costatum* was a major dominant species for all the seasons. Considering the results of literature which is about physiological study, *S. costatum* seems to be euryhaline and eurythermal, and high affinity on the irradiance. Thus, the species might have been spread population in Jinju Bay where is characteristic of wide range of water temperature, salinity and high extinction coefficients.

Keywords: Jinju Bay(진주만), water temperature(수온), salinity(염분), extinction coefficient(소광계수), dominant species(우점종), *Skeletonema costatum*

[†]Corresponding author: yoonyh@chonnam.ac.kr

1. 서 론

진주만은 경상남도 하동군, 사천시 및 남해군에 의해 둘러싸인 반폐쇄성 내만역으로 남북길이 18 km, 동서방향 15 km에 달하며 평균수심은 3.6 m로 비교적 얇고, 남쪽에서 북쪽으로 개방되어 있는 만을 따라 완만한 해저 경사를 이루고 있다. 만의 상부는 사천시와 접하고 있어 사천시의 생활하수가 유입되며, 하계 대량의 강우시 진양호 방류수의 영향을 받는다. 또한 만내에는 길호강, 사주천, 곤양천 등의 하천으로부터 담수가 유입되고, 노랑해협 북서만에는 연간 25억 8천만 톤의 담수를 유출하는 섬진강이 위치하며, 진주만 북동의 사천만 북부에는 남강 다목적 댐이 위치하고 있다.

이러한 연안 및 내만역 환경은 매우 다양한 생물군에 의하여 복잡한 먹이망 구조를 이루고 있다. 생물군집 중에 식물플랑크톤은 해양생태계의 가장 저차 영양 단계에 속하는 생물군집으로, 해양의 모든 동물군의 생명현상을 유지시키는 에너지 공급원의 역할을 수행한다. 특히 식물플랑크톤은 해양의 공간적인 특성에 의해 광합성을 하는 데 필수적인 태양광선이 표층에만 존재하기에 표층에 오랜 시간 부유할 수 있도록 단위체적 당의 표면적을 최소로 적용하여 매우 작은 크기의 생물로 진화되어 왔다. 그러기에 식물플랑크톤은 단세포의 형태인 극소형의 크기를 나타내어 운동력 대부분은 상실되거나 매우 미약하여 해류, 조석, 바람 등 외력에 대해 수동적으로 적응할 수밖에 없을 뿐만 아니라, 주위 환경에 민감하게 반응을 내게 된다.

식물플랑크톤 군집에 영향을 주는 환경요인은 수온, 염분, 조도, 영양염 그리고 미량금속과 같은 물리화학적 요인과 포식자의 포식압 등과 같은 생물학적 요인을 들 수 있다. 이중 수온, 염분 그리고 조도는 식물플랑크톤의 종 천이 및 수직수평 분포에 크게 영향을 미친다. 수온은 식물플랑크톤의 효소활성에 영향을 크게 영향을 주기 때문에 그들의 성장 속도에 밀접한 관련 있다. Epply [1972]와 Goldman and Carpenter [1974]에 의하면 식물플랑크톤의 최대 성장속도는 온도와 양의 상관관계를 가지는 대수성장곡선을 보이며, 이 관계식은 온도와 식물플랑크톤의 성장에 관련한 많은 연구에서 이용되었다. 염분은 세포의 삼투압과 밀접한 관련이 있어 급격한 염분 변화는 원형질 분리나 세포 자체를 파괴시킨다(Boney [1979]). 더욱이 이러한 염분변화는 식물플랑크톤의 공간적인 patch 형성과 밀접한 관련이 있다(Okubo [1982]). 연안환경에서 염분의 급격한 감소는 대부분 담수 유입에 기인한 것으로 이러한 환경에서는 높은 이류(advection)확산(diffusion)을 보여 성장속도가 이류 확산보다 낮을 경우 개체군 확대가 불가능하게 된다. 하지만 보다 높은 분열 속도를 가지는 개체군은 성장할 수 있기 때문에 우점될 수 있다(Yamamoto and Okai [2000]). 한편, 해양의 기초생산자인 식물플랑크톤은 태양에너지를 이용하여 무기물로부터 유기물을 합성한다. 식물플랑크톤의 광합성과 성장은 조도에 따라 크게 영향을 받게 되며, 광합성 생물 및 비광합성 생물의 신진대사까지 영향을 미친다(Snchez-Saavedra and Voltina [1994]). 조도는 해수 중의 플랑크톤, 그 외의 현탁물질, 용존유기물 및 해수자체의 흡수에 의

해 투과되는 깊이와 함께 그 강도와 파장 특성이 변하고, 해역에 따라 해수 중에 포함되어진 물질의 농도가 다르기 때문에 식물플랑크톤의 성장에 영향을 미치는 광 환경 특성은 크게 변한다(Wellen and Geen [1971]; Faust *et al.* [1982]). 이러한 광 환경의 연직적인 변화를 소광계수(extinction coefficient)로 표현하며 해양의 기초생산을 설명하는 데 중요한 인자가 된다.

따라서 본 연구는 진주만에서 수온, 염분 그리고 소광계수의 시공간적 분포 특성을 파악하고 이들 환경변수가 식물플랑크톤 군집에 어떤 영향을 미치는지 고찰하였다.

2. 재료 및 방법

진주만 식물플랑크톤 군집분포 및 천이에 대한 환경인자(수온, 염분, 소광계수)를 도출하기 위한 현장조사는 만내 22개 정점(Fig. 1)을 대상으로 2003년 4월, 7월, 10월 및 12월에 용선한 소형선박을 이용하여 실시하였으나(4월에 낙조, 7월과 10월은 낙조에서 창조, 12월은 창조), 10월은 기상관계상 하동인근해역 10개 정점에서만 관측하였다. 수온, 염분 및 조도는 Submersible Fluorometer(Alec. Co., ACL 1151-D, Japan) 및 이에 장착된 조도센서(LI-COR, Inc., Under water, UWQ 5541, USA)을 이용하여 1 m 씩 전 수층을 측정하였다. 소광계수는 Lambert-beer식 ($I_z = I_0 e^{-ks}$; I_z 는 수심 z 에서의 광량, I_0 는 해면에서의 광량, k 는 소광계수)에 따라 계산하였다.

식물플랑크톤 검정 및 계수는 바킷수를 사용하여 채수한 표층해수 300 ml를 중성포르말린으로 최종농도가 0.4%가 되게 고정(Thronsdon [1978])한 후, 실험실로 운반하였다. 농축은 고정해수 250 ml를 membrane filter(pore size: 5 μ m, diameter: 47 mm)가 장착된 플라스틱 여과기를 이용하여 자연낙하 방법으로 최종농도가 5 ml 되도록 농축하였다. 검경은 농축된 시료 0.1 ml를 micropipette로 계수판에 취해 광학현미경(Nikon, Japan)하에서 종의 동정과 계수를 실시하였다. 종 동정은 Chihara and Murano [1997]와 Tomas

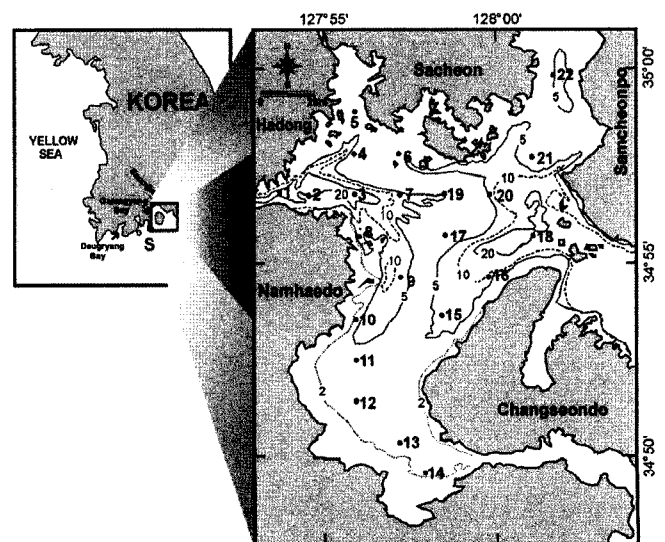


Fig. 1. Map showing the sampling stations in Jinju Bay, Korea.

[1997]를 참조하였으며, 분류체계는 상기 동정문헌을 참조하여 정리하였다.

3. 결 과

3.1 수온과 염분 분포

4월 진주만의 수온분포는 14.2-15.4°C로, 만 중앙해역으로 갈수록 수온은 낮았으며, 강진만에 위치한 정점 5에서는 15°C 이상을 보였다. 7월에는 19.2-21.8°C로, 하천수의 영향을 직접적으로 받고 있는 사천만 입구에서 가장 낮은 19.5°C를 보였으며, 남해도와 창선도 사이의 강진만에서 점차 높아졌다. 10월에는 17.9-19.6°C로 강진만에 위치한 정점에서 수온은 낮았으나 만 중앙부 수로인 정점 3, 7, 19정점으로 갈수록 19°C 내외로 점차 높아졌다. 12월은 10.4-13.3°C의 범위로 강진만 정점 14에서 10.4°C로 수온이 가장 낮았으며, 사천만에 가까운 정점 20과 21로 갈수록 수온은 13.0°C 이상으로 증가하였다(Fig. 2).

염분은 4월에 32.85-33.21 psu로 진교만 입구에 있는 정점 4에서 32.90 psu 이하로 낮았고, 남해대교 입구와 사천만 입구, 강진만에서 33.00 psu 이상으로 높게 나타났다. 7월에는 4.34-17.60 psu의 범위로, 정점 22의 남강하류해역에서 4.34 psu로 가장 낮았다. 그러나 대방수로에 있는 정점 18과 강진만 남부 정점에서(정점 13, 14)는 비교적 높았다. 10월에는 30.88-31.46 psu의 범위로, 진교만 입구의 정점 4에서 30.88 psu로 가장 낮았으며, 만 중앙해역으로 갈수록 점차 높게 나타났다. 12월에는 31.95-32.33 psu의 범위로, 강진만의 정점 14에서 가장 낮았으며, 진주만 중앙으로 갈수록 점차 높아지는 염분농도를 나타내었다(Fig. 3).

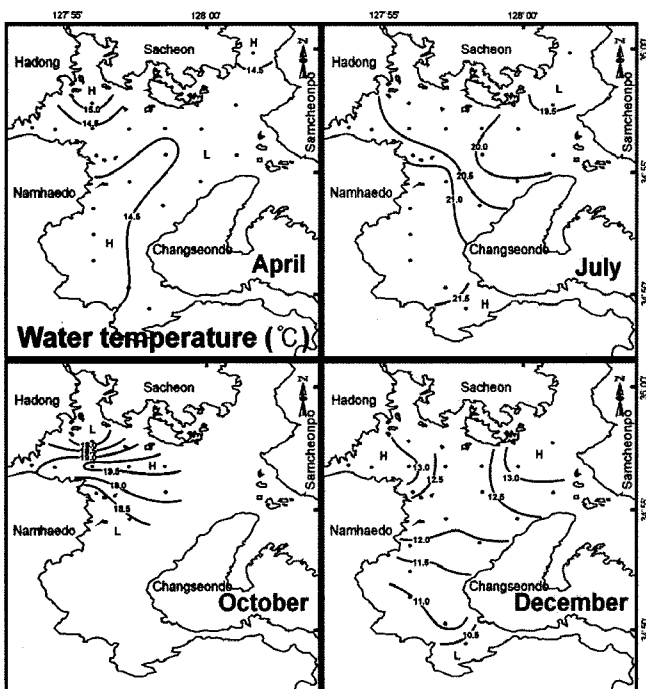


Fig. 2. Horizontal distribution of surface water temperature in Jinju Bay, Korea.

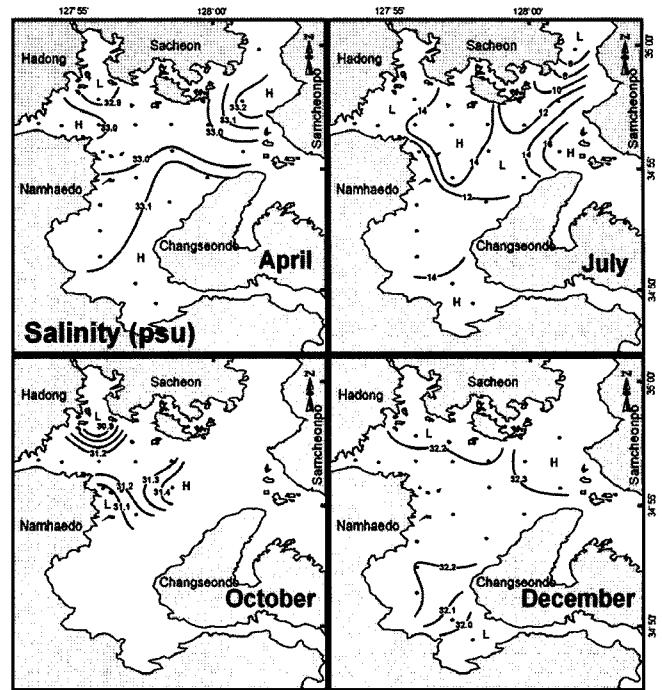


Fig. 3. Horizontal distribution of surface salinity in Jinju Bay, Korea.

한편, 표층 수온과 염분을 T-S diagram을 이용하여 각각 기간을 특성화 시켜보면(Fig. 4), 4월은 상대적으로 저온·고염의 특성을 보이고, 7월은 고온·저염의 해수특성을 보이고 있지만, 염분농도의 분포가 매우 크게 나타났다. 10월은 고온·고염의 해수특성을 보이고는 있지만 7월에 비해 염분농도의 변화폭이 매우 제한되어 나타나고 있다. 12월은 저온고염의 해수특성을 나타냈다.

3.2 소광계수

진주만의 4월 소광계수의 범위는 0.81-1.27로 노랑해협 정점 1에서 1.3의 높은 소광계수를 나타내었고, 하동에서 남해도 상단을

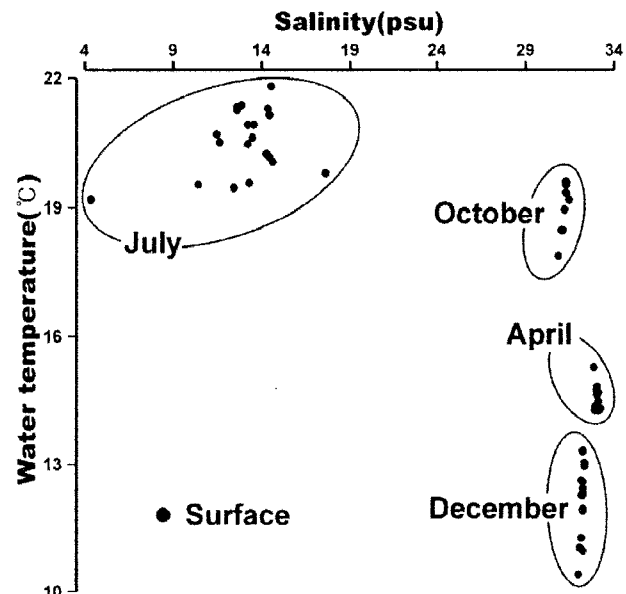


Fig. 4. T-S diagram of surface water in the study area on April, July, October and December, 2003.

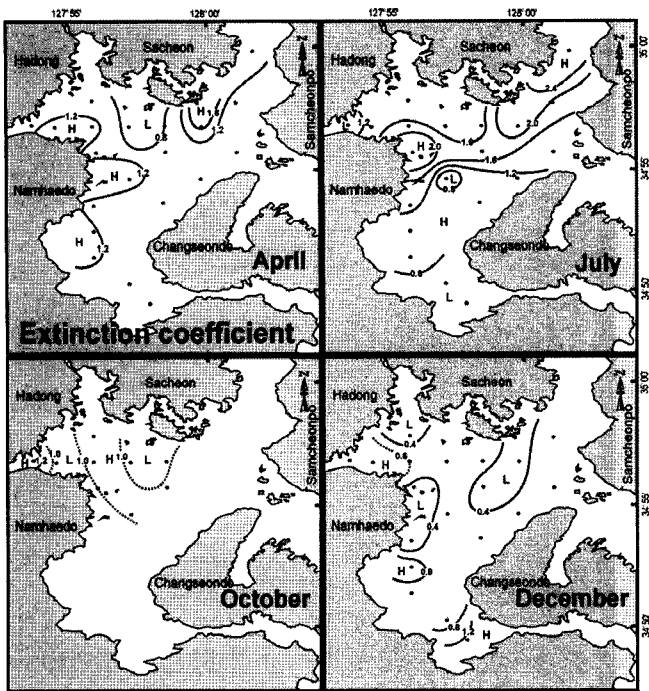


Fig. 5. Horizontal distribution of extinction coefficient in Jinju Bay, Korea.

연결하는 지선에서 1.0 이상의 값을 보였다. 정점 6에서 정점 19를 연결하는 지선에서 육지 쪽으로 1.0이하의 값을 나타내었다. 7월에 소광계수는 0.64-3.08로, 만 북부해역에서 중앙부로 갈수록 낮은 소광계수 분포를 나타내었으며, 하천이 유입되고 수심이 낮은 진교만 입구인 정점 5와 강진만 북서단 정점 8에서 높은 값을 보였다. 특히 정점 5에서 3.1의 매우 높은 값이었다. 그리고 만 중앙부 해역인 정점 9에서 0.7, 정점 13인 강진만 남부해역에서 1이하의 상대적으로 낮은 소광계수를 나타내었다. 10월 소광계수의 범위는 0.63-1.62로, 북부해역의 하천이 유입되는 곳인 정점 20에서 1.6 이상의 높은 소광계수를 나타내었으며, 만 중앙부로 갈수록 약간 낮은 값을 나타내었다. 또한 수심이 얕은 강진만의 남해도 해안을 따라 높은 값을 나타내었다. 12월에는 0.09-1.22로 낮은 소광계수를 나타내어 강진만 남부의 정점 11과 정점 14를 제외하고는 모든 정점에서 1.0 이하의 낮은 값을 나타내었다(Fig. 5).

전체적으로 소광계수는 4월, 7월, 10월의 일부 해역과 12월을 제외하고는 모든 해역에서 1이상으로 높게 나타났으며, 특히 7월에는 하천 하구역에서 2이상의 매우 높은 값을 나타내어 태양입사광이 극히 표층에 제한적으로 존재하고 있는 것으로 판단되었다. 이와 같은 높은 소광계수는 식물플랑크톤의 생물량에 의한 빛의 흡수보다는 낮은 수심과 하천으로부터의 담수의 유입, 그리고 조석혼합에 의해 표층 퇴적물의 재 부유 등에 크게 영향을 받는 것으로 판단되었다.

3.3 식물플랑크톤 군집 분포 특성

진주만에서 연간 출현이 확인된 식물플랑크톤 종은 4 식물문, 5 식물강, 10 식물목, 27 식물과, 51 식물속, 95종이었다. 이를 분류

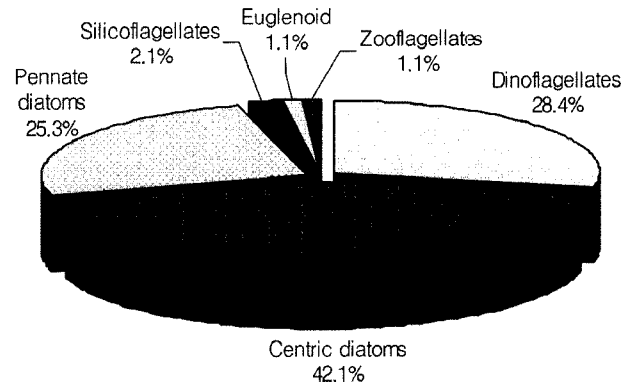


Fig. 6. Species composition of phytoplankton community in Jinju Bay, Korea.

군별로 살펴보면, 규조류가 35속 64종으로 전체 67.4%를, 외편모조류가 13속 27종으로 28.4%, 규질 편모조류가 1속 2종으로 2.1%, 동물성 편모조류가 1속 1종으로 1.1%, 유글레나조류 1속 1종으로 1.1%의 점유율을 나타내었다(Fig. 6). 식물플랑크톤 종조성의 계절 변화는 4월에 44속 72종, 7월에 23속 27종, 10월에 39속 60종, 12월에 40속 61종으로 나타났다. 4월은 출현한 식물성 편모조류가 13속 22종, 규조류가 30속 49종으로 최고 출현종 특성을 보였다. 7월은 편모조류가 8속 10종으로 4월에 비해 감소하였다. 규조류 역시 15속 17종으로 4월에 비해 감소하였다. 10월은 규조류가 30속 45종으로 7월에 비해 큰 변화를 보였으나, 편모조류는 9속 15종으로 7월에 비해 다소 증가하였다. 12월은 중심목 규조류가 20속 36종으로 가장 높은 출현종 특성을 보였으며, 편모조류는 8속 12종으로 낮은 출현종 출현을 나타내었다. 이와 같은 진주만 식물플랑크톤 출현종을 남해 내만해역과 비교해 보면, 가막만에서 54속 98종(윤 [1995]), 여자만 34속 87종(이와 윤 [2000]), 득량만 50속 111종(이와 이 [1999]), 완도연안 33속 56종(윤 [1998a]), 북포연안(시아해) 27속 36종(윤 [1998b])을 보여 연구해역의 주변내만해역보다는 많은 출현종수를 나타내었지만, 대부분 남해 내만해역에 7월철 높은 외편모조류 출현을 보이는 것에 반해(윤 [2003]), 진주만은 7월에 가장 낮은 식물성 편모조류 출현양상을 나타내었다.

진주만 식물플랑크톤 군집에서 조사시점의 전체 정점을 평균하여 10%이상 점유하는 종을 우점종으로 하여 Table 1에 나타내었다. 계절별로는 4월에 *Thalassionema nitzschioides*가 46.6%의 점유율로 제 1 우점종으로 출현하였으며, 다음이 *S. costatum*으로 19.4% 그리고 *Thalassionsira* sp가 11.8% 순의 우점율을 나타내었다. 7월에는 *S. costatum*이 52.1% 우점율로 제 1 우점종을 차지하였으며, *Leptocylindrus danicus*가 22.6%의 우점율을 나타내었다. 10월에는 *Chaetoceros debilis*가 29.4%의 점유율로 제 1 우점종을 나타냈으며, *S. costatum*이 20.9%의 우점율, *C. curvisetus*가 16.2%, 그리고 *Pseudonitzschia pungens*가 10.6%의 우점율 순으로 나타났다. 12월에는 *S. costatum*가 49.3%의 우점율로 제 1 우점종으로 출현하였으며, 우상목 규조류인 *Asterionellopsis glacialis*가 12.6%의 우점율, 그리고 중심목 규조류인 *C. debilis*가 12.0%의 우점율 순으로 나타났다(Table 1).

Table 1. Seasonal succession of dominant species in Jinju Bay, Korea

Month	Dominant species	Dominance (%)
April	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	46.6
	<i>Skeletonema costatum</i>	19.4
	<i>Thalassiosira</i> sp.	11.8
July	<i>Skeletonema costatum</i>	52.1
	<i>Leptocylindrus danicus</i>	22.6
October	<i>Chaetoceros debilis</i>	29.4
	<i>Skeletonema costatum</i>	20.9
	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	16.2
	<i>Pseudonitzschia pungens</i>	10.6
December	<i>Skeletonema costatum</i>	49.3
	<i>Asterionellopsis glacialis</i>	12.6
	<i>Chaetoceros debilis</i>	12.0

4. 고 찰

남해의 연안 및 내만 해역에서 규조류가 연중 우점종으로 출현하는 비율이 높지만(윤 [2000], 이와 윤[2000]), 하계 경우는 비교적 외편모조류 등 식물성 편모조류가 우점한다(김 [1999], 윤과 고 [1995], 윤 [2003]). 하지만, 진주만 현장조사에서 모든 시기에 규조류가 우점하였으며, 특히 *Skeletonema costatum*는 전 관측시기에 20%이상의 우점율을 나타내었다. 따라서 비교적 생리적 연구가 많이 진행되어 있는 우점종인 *S. costatum*의 생리적 특성으로부터 왜 2003년 진주만은 왜 규조류가 우점하는가를 고찰해 본다.

진주만에서 *S. costatum*은 계절별 수온의 변화와 여름철 염분의 변동에서도 우점하기 때문에, 광온광염성 종으로 볼 수 있다. 실내 실험에서 이 종이 성장 가능한 수온 범위가 2.0-30 °C(Curl and McLeod [1961], Yoder [1979], Hitchcock [1980]), 염분이 5.0-45 psu(Brand [1984], Rijstenbil [1989])로 넓은 범위에서 성장할 수 있으며, 시주(試株; strain)에 따라 조금씩 다르지만 최대 성장속도를 보이는 수온과 염분은 20-30 °C와 20-30 psu로 성장속도는 4.28 divisions day⁻¹였다(Yoder [1979], Curl and McLeod [1961]). 따라서 7월에 진주만 전 해역은 20 °C 이상으로 최대 성장속도를 보일 수 있는 환경이다. 더욱이 실내실험에서 10 °C 수온에서도 성장속도가 1.22 divisions day⁻¹(Yoder [1979])로, 진주만에서는 12월에도 그들의 개체군이 성장할 수 있다. 따라서 수온과 염분 등의 환경요인만 고려했을 경우 연안환경에서 다른 식물플랑크톤과 종 경쟁에 유리한 위치에 있으며, 특히, 하계 담수 및 외부 해수 등에 의해 염분 변동이 큰 연안역의 경우 다른 식물플랑크톤과의 중간 경쟁에 유리할 것으로 사료된다.

Oh et al.[2008]에 따르면 실내 광조건 실험을 이용하여 *S. costatum*의 조도와 성장속도 관계를 Lederman and Tett[1981]의 식을 개량하여($\mu = \mu_{max}(I - I_0)/(K_s - I_0) + (I - I_0)$; μ : 상대성장속도(day⁻¹), μ_{max} : 최대 상대성장속도(day⁻¹), I : 광량($\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$), I_0 : 보상광량($\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$), K_s : 반포화광량($\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$)) 최소자승법으로 근사한 결과, I_0 가 1.00 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 계산되었다. 이는 진주만의 높은 소광계수에 따라 극히 표층에 해당하는 수심이

다(4월 7월 10월: 2-3 m; 12월: 4-5 m). 남해안에서 주로 출현하는 외편모조류의 I_0 를 살펴보면, *Gymnodinium catenatum*(여수해만에서 분리한 strain)은 10 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (오 등 [2004]), *Cochlodinium polykrikoides*는 10.4 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (일본 Kumamoto 연안해역에서 분리한 시주; Kim et al. [2004])과 9.76(일본 Kyushu 연안해역에서 분리한 시주; 오 등 [2006]), *Heterocapsa circularisquama*(일본 Kyushu 연안해역에서 분리한 시주; Oh et al. [2008])는 17.1 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, *Alexandrium tamarense*는 35-76 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (일본 Hiroshima만에서 분리한 시주; Yamamoto et al. [1995], [1997])로 *S. costatum*보다 높은 보상광량을 보였다. 더욱이 조도의 친화성을 나타내는 지표인 반포화상수도 *S. costatum*은 21.3 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이었지만(Oh et al. [2008]), *G. catenatum*은 42.6 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (오 등 [2004]), *C. polykrikoides*는 32.0 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (오 등 [2006]), *H. circularisquama*는 56.1 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Oh et al. [2008]), *A. tamarense*는 62.0 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Yamamoto et al. [1995])로 대표적인 외편모조류보다 낮았다. 이는 같은 광 조건이라도 *S. costatum*이 다른 외편모조류 보다 빨리 조도에 반응하여 성장할 수 있다는 것을 의미하며, 높은 소광계수를 나타내는 진주만에서 규조류가 우점할 수 있는 중요한 이유 중 하나이다.

한편, Yamamoto et al. [2000]에 따르면, 일본 Mikawa만에서 박스모델을 이용하여 해수 교환율을 구하고 Mikawa만에서 대표적으로 우점하는 식물플랑크톤의 최대 성장속도와 비교하여 본 결과, 대부분 규조류는 성장속도가 빠른 관계로 교환율이 증가하더라도 개체군들이 확산되지 않고 개체군 확대가 가능하나, 성장속도가 느린 외편모조류는 개체군 확대가 불가능하였다. 더욱이 이들 외편모조류는 외부의 교반(攪拌; tumbling)이나 와류(渦流; eddy)에 극도로 민감하게 반응하기 때문에 성장에 제한요소로 작용한다(Gibson and Thomas [1995]). 실제 배치배양상태의 *A. tamarense*를 교반기로 와류를 만들 경우, 이들 개체군은 배양액 중앙에 뭉쳐 성장이 저하되는 것을 관찰할 수 있다(White [1976]). 따라서 진주만과 같이 육수 유입이 강한 곳은 이러한 교환율과 와류가 높을 것으로 생각되어 외편모조류가 성장하기 어려울 것으로 사료된다. 이러한 생리학적 단점을 극복하기 위해 몇 종의 외편모조류는 저층바닥까지 유영하여 교반이나 와류를 피하기도 하지만, 진주만과 같이 소광계수가 높은 지역은 저층에 빛이 거의 도달하지 않기 때문에 저층에서 생존하기가 어려울 것으로 판단되며, 외편모조류의 특유의 행동 양식인 일주야 운동 또한 불가능 할 것으로 생각된다.

한편, Uchida et al. [1996]은 규조류와 *H. circularisquama*의 혼합배양에서 규조류의 증가와 함께 *H. circularisquama*는 휴면포자(temporary cyst)가 되어 성장이 억제된다고 보고하였으며, 이 메카니즘에 대해서는 확실히 밝혀지지는 않았지만, 규조류에서부터 유출되는 지용성 물질에 따른 타감작용(他感作用; allelopathie)으로 휴면포자가 되는 것 같다고 보고하였다. *A. tamarense* 또한 진주만에서 우점하는 *Thalassiosira* sp.와 *Chaetoceros* sp.의 배양액에서 성장이 억제되는 것을 발견하였으며, *Akashiwo sanguineum* 또한 이들 규조류에서 성장이 억제되는 효과가 나타났다(Sekiguchi et al.

[2000]). 이와 같은 현상이 자연환경에서 어느 정도 개체군 천이에 영향을 주는지는 불명확하나, 식물플랑크톤이 고농도로 존재할 시, 생물 간의 간섭 및 타감작용은 충분히 개체군 천이에 영향을 미칠 것으로 생각되며(Uchida [1995], [2001]), 최근에 중 천이를 해석하는 데 있어 포식과 피식, 영양염 결합 등과 함께 중요한 요인으로 취급되고 있다. 하지만, 동일 속에서도 종에 따라 유발되는 타감작용이 다르며, 영향을 받는 생물 또한 종에 따라 차이가 나기 때문에 더욱 세밀한 생리학적 연구가 필요할 것으로 생각된다.

더욱이, 앞으로 이러한 개체군 확대와 천이를 더욱 자세히 밝히기 위해서는 빛의 파장에 따른 성장 특성과 무기영양염과 유기영양염의 흡수 및 성장 동력학 특성을 파악하여, 현장 자료와 비교 검토하고, 이러한 자료를 바탕으로 개체군 동태 모델의 작성이 필요하다. 그에 따라 연안 해양 환경에서의 식물플랑크톤의 개체군 동태와 중 천이 기작을 종합적으로 논의하는 것이 필요하다.

참고문헌

- [1] 김대일, 1999, “가막만 해양환경과 적조생물의 출현동태”, 여수대학교 대학원 석사학위 논문, 112pp.
- [2] 오석진, 윤양호, 2004, “여수해만에서 분리한 유독 외편모조류, *Gymnodinium catenatum* (Graham)의 성장에 미치는 수온, 염분과 광 조건”, *Algae*, 19, 293-301.
- [3] 오석진, 윤양호, 김대일, 島崎洋平, 大島雄治, 本城凡夫, 2006, “유해성 적조생물, *Cochlodinium polykrikoides* Margalef (Dinophyceae) 성장에 영향을 미치는 광량과 파장”, *Algae*, 21, 311-316.
- [4] 윤양호, 1995, “가막만 북부해역의 해양환경과 식물플랑크톤 군집의 변동특성. 1. 식물 플랑크톤군집의 계절변동과 적조원인 생물”, 여수수산대학교 수산과학연구소 연구보고, 4, 1-15.
- [5] 윤양호, 1998a, “완도 신지도 연안해역의 식물플랑크톤 군집 구조 특성”, 여수대학교 논문집, 12, 651-664.
- [6] 윤양호, 1998b, “시아해 식물플랑크톤 군집의 계절변동 특성”, *환경생물*, 16, 403-409.
- [7] 윤양호, 2000, “가막만 북부해역의 해양환경과 식물플랑크톤 군집의 변동특성 2”, *한국환경과학회지*, 9, 429-436.
- [8] 윤양호, 2003, “한국 남서해역의 식물플랑크톤 군집 출현 및 분포 특성”, 여수대학교 수산과학연구소 논문집, 12, 1-17.
- [9] 윤양호, 고남표, 1995, “거금수도내 양식어장의 해양환경특성 I. 식물플랑크톤 군집의 계절변동”, *한국양식학회지*, 8, 47-58.
- [10] 이진환, 윤수미, 2000, “여자만의 수질과 식물플랑크톤 군집”, *Algae*, 15, 89-98.
- [11] 이진환, 이은호, 1999, “득량만 수질과 식물플랑크톤 적조”, *한국조류학회지*, 15, 89-98.
- [12] Boney, A.D., 1979, “Phytoplankton”, Camelot Press, Southampton, 116pp.
- [13] Brand, L.E., 1984, “The salinity tolerance of forty-six marine phytoplankton isolates”, *Estuaries Coastal Shelf Sci.*, 18, 543-556.
- [14] Chihara, M. and Murano, M., 1997, “An illustrated guide to marine plankton in Japan”, Tokai Univ. Press, Tokyo, 1574pp (in Japanese).
- [15] Curl, H. and McLeod, G.C., 1961, “The physiological ecology of a marine diatom, *Skeletonema costatum* (Grev.)”, *J. Mar. Res.*, 19, 70-88.
- [16] Epply, R.W., 1972, “Temperature and phytoplankton growth in the sea”, *Fish. Bull. Nat. Ocean. Atmos. Adm.*, 70, 1063-1085.
- [17] Faust, M.A., Sage, J.C. and Meeson, B.W., 1982, “Response of *Prorocentrum mariae-lebouriae* (Dinophyceae) to light of different spectral qualities and irradiances: growth and pigmentation”, *J. Phycol.*, 18, 349-356.
- [18] Gibson, C.H. and Thomas, W.H., 1995, “Effects of turbulence intermittency on growth inhibition of a red tide dinoflagellate, *Gonyaulax polyedra* Stein”, *J. Geophys. Res.*, 100, 24841-24846.
- [19] Goldman, J.C. and Carpenter, E.J., 1974, “A Kinetic approach to the effect of temperature on algal growth”, *Limnol. Oceanogr.*, 19, 756-766.
- [20] Hitchcock, G.L., 1980, “Influence of temperature on the growth rate of *Skeletonema costatum* in response to variations in daily light intensity”, *Mar. Biol.*, 57, 261-269.
- [21] Kim, D.I., Matsuyama, Y., Nagasoe, S., Yamaguchi, M., Yoon, Y.H., Oshima, Y., Imada N. and Honjo, T., 2004, “Effects of temperature, salinity and irradiance on the growth of the harmful red tide dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* Margalef (Dinophyceae)”, *J. Plankton Res.*, 26, 61-66.
- [22] Lederman, T.C. and Tett, P., 1981, “Problems in modeling the photosynthesis-light relationship for phytoplankton”, *Bot. Mar.*, 24, 125-134.
- [23] Oh, S.J., Kim, D.-I., Sajima, T., Shimasaki, Y., Matsuyama, Y., Oshima, Y., Honjo, T. and Yang, H.-S., 2008, “Effects of irradiance of various wavelengths from light-emitting diodes on the growth of the harmful dinoflagellate *Heterocapsa circularisquama* and the diatom *Skeletonema costatum*”, *Fisheries Sci.*, 74, 137-145.
- [24] Okubo, A., 1982, “Horizontal dispersion and critical scales for phytoplankton patches”, In: Steele, J.H. (ed.), *Spatial Pattern in Plankton Communities*, Ser. IV, 3, Plenum Press, New York and London, pp.21-42.
- [25] Rijstenbil, J.W., 1989, “Competitive interaction between *Ditylum brightwelli* and *Skeletonema costatum* by toxic metabolites”, *Neth. J. Sea Res.*, 23, 23-27.
- [26] Sanchez-saavedra, M.P. and Voltolina, D. 1994, “The chemical composition of *Chaetoceros* sp. (Bacillariophyceae) under different light conditions”, *Comp. Biochem. Physiol.*, 107, 39-44.
- [27] Sekiguchi, K., Kaga, Y., Kaga, S. and Ogata, T., 2000, “Effect of culture filtrates of various microalgae on the growth of toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarense*”, *Bull. Iwate Pref. Fish. Tech. Center*, 2, 43-49.
- [28] Throndsen, J., 1978, “Preservation and storage”, In: Sournia, A. (ed), *Phytoplankton manual*, Unesco, Paris, 69-74.
- [29] Tomas, C.R., 1997, “Identifying marine phytoplankton”, Academic Press, London, 858pp.

- [30] Uchida, T., 1995, "The red-tide dinoflagellate *Heterocapsa* sp. kills *Gyrodinium instriatum* by cell contact", Mar. Ecol. Prog. Ser., 118, 301-303.
- [31] Uchida, T., Matsuyama, Y., Yamaguchi, M. and Honjo, T., 1996, "Growth interactions between a red tide dinoflagellate *Heterocapsa circularisquama* and some other phytoplankton species in culture", In: Yasumoto, T., Oshima, Y. and Fukuyo, Y. (eds.), Harmful and Toxic Algal Blooms, Unesco, Paris, 369-372.
- [32] Uchida, T., 2001, "The role of cell contact in the life cycle some dinoflagellate species", J. Plankton Res., 23, 889-891.
- [33] Wellen, D.G. and Geen, G.H., 1971, "Light quality in relation to growth, photosynthetic rates and carbon metabolism in two species of marine plankton algae", Mar. Biol., 10, 34-43.
- [34] White, A.W., 1976, "Growth inhibition caused by turbulence in the toxic marine dinoflagellate *Gonyaulax excavata*", J. Fish. Res. Board Can., 33, 2598-2602.
- [35] Yamamoto, T., Yoshizu, Y. and Tarutani, K., 1995, "Effects of temperature, salinity and irradiance on the growth of toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarense* isolated from Mikawa Bay, Japan", Jpn. J. Phycol., 43, 91-98 (in Japanese with English abstracts).
- [36] Yamamoto, T. and Tarutani, K. 1997, "Effects of temperature, salinity and irradiance on the growth of toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarense* isolated from Hiroshima Bay, Japan", Jpn. J. Phycol., 45, 95-101 (in Japanese with English abstracts).
- [37] Yamamoto, T. and Okai, M., 2000, "Effects of diffusion and upwelling on the formation of red tides", J. Plankton Res., 22, 363-380.
- [38] Yoder, J.A., 1979, "Effect of temperature on light-limited growth and chemical composition of *Skeletonema costatum* (Bacillariophyceae)", J. Phycol., 15, 362-370.

2007년 8월 27일 원고접수

2008년 5월 19일 수정본 채택